

BNSDOCID: <WO\_\_\_\_\_9744722A1\_1\_>

# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LJ	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

BANDGAP-REFERENZSPANNUNGSSCHALTUNG ZUR ERZEUGUNG  
EINER TEMPERATURKOMPENSIERTEN REFERENZSPANNUNG

5

Die Erfindung betrifft eine Bandgap-Referenzspannungs-  
schaltung zur Erzeugung einer temperaturkompensierten Referenzspannung mit einem zwischen eine erste und eine zweite Spannungsklemme geschalteten ersten und zweiten Spannungsteiler, die jeweils einen an die erste Spannungsklemme als Diode geschalteten Transistor aufweisen, wobei der Transistor im ersten Spannungsteiler über einen ohmschen Widerstand und der Transistor im zweiten Spannungsteiler direkt an einen Spannungsteilerpunkt des jeweiligen Spannungsteilers geschaltet ist und die beiden Spannungsteilerpunkte jeweils über eine Widerstandseinrichtung an die zweite Spannungsklemme geschaltet sind, welche ausgangsseitig an die erste Spannungsklemme, mit ihrem invertierenden Eingang an den Spannungsteilerpunkt des ersten Spannungsteilers und mit ihrem nichtinvertierenden Eingang an den Spannungsteilerpunkt des zweiten Spannungsteilers geschaltet ist.

Bei den meisten integrierten Schaltungen wird eine sehr genaue, temperatur- und eingangsspannungsunabhängige Referenzspannung benötigt. Um eine solche zu erzeugen, bedient man sich im allgemeinen einer Bandgap-Referenzspannungsschaltung, wie diese beispielsweise aus der Veröffentlichung Grube/Dudek: "Prochip PROMETHEUS Abschlußbericht: Robust Analog Design" des Institutes für Mikroelektronik Stuttgart, Seiten 2 bis 40 und insbesondere auf Seite 30, beschrieben ist. Diese Schaltungen weisen alle eine gemeinsame Charakteristik auf: Stets werden genau aufeinander angepaßte Polysiliziumwiderstände eingesetzt, deren Größe sich umgekehrt proportional zum jeweiligen Stromverbrauch der Schaltungsanordnung verhält. Als Größenanordnung kommt zum Beispiel ein Gesamtwiderstand von 870k $\Omega$  bei einem Stromverbrauch von 14 $\mu$ A in Betracht.

In Fig. 1 ist die Schaltungsanordnung einer bekannten Band-gap-Referenzspannungsschaltung dargestellt. Die Schaltungsanordnung von Fig. 1 weist eine Differenzverstärkereinrichtung, hier einen Komparator K auf, dessen invertierender und nicht-invertierender Eingang jeweils mit einem Spannungsteilerpunkt eines Spannungsteilers in Verbindung steht. Ein erster dieser Spannungsteiler ist zwischen eine erste Spannungs-klemme 1, die an Bezugspotential geschaltet ist, und eine zweite Spannungs-klemme 2 geschaltet. An der zweiten Spannungs-klemme 2 ist die zu erzeugende temperaturkompensierte Referenzspannung  $V_{ref}$  abgreifbar. Der erste Spannungsteiler weist die Reihenschaltung eines Widerstandes R2 und einen als Diode geschalteten Bipolartransistor Q2 auf. Der Kollektor- und Basisanschluß dieses Bipolartransistors Q2 steht mit der ersten Spannungs-klemme 1 in Verbindung, während dessen Emitteranschluß über den erwähnten Widerstand R2 mit der zweiten Spannungs-klemme 2 in Verbindung steht. Der Verbindungspunkt des Widerstandes R2 und des Bipolartransistors Q2 ist mit dem nichtinvertierenden Eingang des Komparators K in Verbindung. Ein zweiter Spannungsteiler ist ebenfalls zwischen die erste Spannungs-klemme 1 und zweite Spannungs-klemme 2 geschaltet. Dieser zweite Spannungsteiler besteht aus der Reihenschaltung eines Widerstandes R1, eines weiteren Widerstandes R3 und eines Bipolartransistors Q1, dessen Kollektor- und Basisanschluß wiederum an die erste Spannungs-klemme 1 geschaltet sind. Der Verbindungspunkt der Widerstände R1 und R3 ist mit dem nichtinvertierenden Eingang des Komparators K in Verbindung. Die beiden erwähnten Bipolartransistoren Q1 und Q2 sind beispielsweise, wie Fig. 2 zeigt, meist parasitäre, vertikale Bipolartransistoren und im vorliegenden Beispiel p-Kanal-Bipolartransistoren. Eine Ausgangsklemme des Komparators K ist mit dem Gate-Anschluß eines n-Kanal-MOSFET in Verbindung, dessen Laststrecke zwischen die erste Spannungs-klemme 1 und zweite Spannungs-klemme 2 geschaltet ist. Schließlich weist die bekannte Schaltungsanordnung von Fig. 1 noch eine dritte Spannungs-klemme 3 auf, die an einer Versorgungsspannung  $V_{dd}$

angeschlossen ist. Zwischen die zweite Spannungsklemme 2 und die dritte Spannungsklemme 3 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein p-Kanal-MOSFET geschaltet, dessen Gate-Anschluß von einer Steuerspannung  $V_{bias}$  beaufschlagt wird, um eine Stromquelle zu realisieren.

Die beiden Bipolartransistoren Q1 und Q2 werden in dieser bekannten Schaltungsanordnung mit verschiedenen Stromdichten  $I_1$  und  $I_2$  betrieben. Dies soll für unterschiedliche Emitter-Basis-Spannungen  $V_{be1}$  und  $V_{be2}$  an den Bipolartransistoren Q1 und Q2 gemäß folgender Beziehung geschehen:

$$(1) V_{be1/2} = V_T \cdot \ln\left(\frac{I_{1/2}}{I_s}\right) \text{ mit } V_T = \frac{kT}{e},$$

15

wobei  $K = 1,380 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  (Boltzmann-Konstante) und  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  (Elementarladung).

Die entstehende Spannungsdifferenz  $\Delta V_{be}$  zwischen den beiden Emitteranschlüssen der Bipolartransistoren Q2 und Q1 ist direkt proportional zur Betriebstemperatur der Schaltungsanordnung und weist einen positiven Temperaturkoeffizienten auf, wie die nachfolgende Beziehung zeigt:

$$(2) \Delta V_{be} = V_{be2} - V_{be1} = V_T \cdot \ln\left(M \frac{I_2}{I_1}\right)$$

25

wobei  $M$  das Verhältnis der Emitterfläche des Bipolartransistors Q1 zur Emitterfläche und des Bipolartransistors Q2 ist.

Diese Spannungsdifferenz  $\Delta V_{be}$  wird verstärkt zur Emitter-Basis-Spannung des Bipolartransistors Q2 addiert, so daß dessen negativer Temperaturkoeffizient kompensiert wird. Die entstehende Summenspannung ist die Referenzspannung  $V_{ref}$  und liegt in etwa in der Größenordnung 1,2 V.

35

Die unterschiedlichen Stromdichten und die Verstärkung der Spannung  $\Delta V_{be}$  werden bei der bekannten Schaltungsanordnung von Fig. 1 durch die Größe der verwendeten Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$  sowie die Emitterflächen der Bipolartransistoren  $Q_1$  und  $Q_2$  gemäß

$$(3) \frac{\partial V_{be2}}{\partial T} = -\frac{R_1}{R_3} \frac{\partial \Delta V_{be}}{\partial T} = -\frac{R_1}{R_3} \frac{k}{e} \ln \left[ M \frac{R_1}{R_2} \right] \quad \text{mit } \frac{\partial V_{be2}}{\partial T} \equiv -2mV$$

eingestellt. Der Komparator K mit nachfolgender Endstufe in Form des MOSFET M30 sorgt dabei dafür, daß die Spannungsteilerpunkte A und B auf gleichem Potential liegen.

Die Hauptproblematik dieser bekannten Schaltungsanordnung liegt in der Realisierung der benötigten Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$ . In der integrierten Schaltungstechnik werden aufgrund der hohen Anforderungen an die Genauigkeit dieser Widerstände nur solche aus Polysilizium verwendet. Solche Polysiliziumwiderstände besitzen in Logikprozessen meistens nur einen sehr kleinen Flächenwiderstand, der etwa in der Größenordnung 20 bis 100  $\Omega/\text{Square}$  liegt. Dem Schaltungsentwickler dieser bekannten Bandgap-Referenzspannungsschaltung stehen also, sofern die Schaltungsanordnung in einem Logikprozeß gefertigt werden soll, nur verhältnismäßig niederohmige Polysiliziumbahnen zur Verfügung. Dies führt unter der aktuellen Designforderung nach minimalem Stromverbrauch zu einem untragbar großen Flächenverbrauch auf dem Halbleiterkörper.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Bandgap-Referenzspannungsschaltung anzugeben, bei der kleine Polysiliziumflächenwiderstände ausreichend sind und die deshalb für die Verwendung in einem Logikprozeß geeignet sind. Die Schaltungsanordnung soll hierbei eine genaue, temperatur- und eingangsspannungsunabhängige Referenzspannung unter Verwendung verhältnismäßig kleiner Widerstände erzeugen, wobei der Stromverbrauch im Vergleich zu den bekannten Bandgap-

Referenzspannungsschaltungen nicht erhöht sein soll. Des weiteren soll die Schaltungsanordnung gutes Matching der Bauelemente untereinander ermöglichen und damit zu einer hohen Ausbeute bei der Fertigung beitragen.

5

Diese Aufgabe wird bei der eingangs genannten Bandgap-Referenzspannungsschaltung dadurch gelöst, daß die Widerstandseinrichtungen durch Widerstandselemente mit abnehmendem Leitwert bei steigender Temperatur gebildet und über eine Stromspiegelanordnung an die zweite Spannungsklemme angeschlossen sind, daß an den Spannungsteilerpunkt des zweiten Spannungsteilers ein ohmscher Widerstand geschaltet ist, welcher mit seiner freien Klemme, an der die temperaturkompensierte Referenzspannung abgreifbar ist, über die Laststrecke eines Transistors an die zweite Spannungsklemme geschaltet ist, wobei der Steueranschluß dieses Transistors mit dem Verbindungspunkt der Stromspiegelanordnung und den Widerstandseinrichtungen verbunden ist, daß Versorgungsklemmen der Differenzverstärkeranordnung mit der ersten und zweiten Spannungsklemme verbunden sind, und daß eine regelbare Stromquelle zwischen die zweite Spannungsklemme und eine dritte Spannungsklemme geschaltet ist.

Bei der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung wird im Gegensatz zu den bekannten Bandgap-Referenzspannungsschaltungen nicht die Referenzspannung selbst direkt geregelt, sondern vielmehr die an der zweiten Spannungsklemme anstehende Regelspannung, welche auf einem höheren Potential liegt. Dies sorgt dafür, daß Störungen in der Versorgungsspannung, die an die dritte Spannungsklemme angeschlossen ist, besser gedämpft werden und kleinere Störampplituden in der Referenzspannung erzeugen. Des weiteren ist durch diese Entkopplung die Stabilität des Bandgap-Regelkreises gewährleistet.

Vorzugsweise wird die Regelspannung an der zweiten Spannungsklemme durch einen geregelten Spannungsteiler eingestellt. Dabei wird ein durch die Bandgap-Referenzspannungsschaltung

bestimmter Konstantstrom eingeprägt. Eine Regelabweichung an den Spannungsteilerpunkten der beiden Spannungsteiler und damit an den Differenzspannungseingang der Differenzverstärkeranordnung wird durch die Differenzverstärkungsanordnung verstärkt und durch eine Änderung der Gate-Source-Spannung in einem Endstufentransistor ausgeregelt. Vorzugsweise besitzt der Komparator zur Verkleinerung des Komparatoroffsets eine symmetrische Eingangsstufe. Um ein stabiles Arbeiten des Regelkreises zu gewährleisten kann ein Dämpfungsglied zwischen den Drainanschluß und den Gateanschluß des Endstufentransistors eingebaut werden.

In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind die erwähnten Widerstandselemente mit abnehmendem Leitwert bei steigender Temperatur durch MOSFETs realisiert. Hierdurch wird eine höhere Temperaturunabhängigkeit der Schaltungsanordnung erreicht.

Die erfindungsgemäße Bandgap-Referenzspannungsschaltung wird nachfolgend in Zusammenhang mit weiteren Figuren anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: die bereits erläuterte Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach dem Stand der Technik,

Fig. 2: ein schematisches Schnittbild durch einen Halbleiterkörper mit Vertikal-Bipolartransistor in p-Kanal-Technologie,

Fig. 3: ein Ausführungsbeispiel für eine Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach der Erfindung in n-Wannen-Technologie und

Fig. 4: ein detaillierteres Schaltbild zu Fig. 3.



In den nachfolgenden Figuren bezeichnen, sofern nicht anders angegeben, gleiche Bezugszeichen gleiche Teile mit gleicher Bedeutung. Obwohl die in den nachfolgenden Figuren 3 und 4 vorgestellten Bandgap-Referenzspannungsschaltungen jeweils  
5 Schaltungen in n-Wannen-Technologie dargestellt sind, ist es ohne weiteres möglich, diese dort vorgestellten Schaltungen auch in p-Wannen-Technologie zu realisieren.

Die in Fig. 3 dargestellte Schaltungsanordnung weist eine erste Spannungsklemme 1, die vorliegend auf Bezugspotential liegt, eine zweite Spannungsklemme 2 und eine dritte Spannungsklemme 3 auf. An der dritten Spannungsklemme 3 ist eine Versorgungsspannung  $V_{dd}$  angeschlossen. Zwischen der dritten  
10 Spannungsklemme 3 und der zweiten Spannungsklemme 2 liegt eine geregelte Stromquelle. An der zweiten Spannungsklemme 2 ist eine Regelspannung  $V_{reg}$  abgreifbar. Zwischen der ersten Spannungsklemme 1 und der zweiten Spannungsklemme 2 ist ein Endstufentransistor  $M_{18}$  mit seiner Laststrecke geschaltet. Dieser Endstufenstransistor  $M_{18}$  ist im vorliegenden Beispiel  
15 ein n-Kanal-MOSFET, dessen Gate-Anschluß an die Ausgangsklemme eines Komparators  $K$  geschaltet ist. Eine Versorgungsspannungsklemme des Komparators  $K$  ist mit der zweiten Spannungsklemme 2 und eine andere Versorgungsklemme dieses Komparators  $K$  mit der ersten Spannungsklemme 1 in Verbindung. Der invertierende Eingang ist mit einem Spannungsteilerpunkt  $A$  und der nichtinvertierende Eingang des Komparators  $K$  mit einem Spannungsteilerpunkt  $B$  einer Spannungsteileranordnung in Verbindung, die den "Bandgap-Kern" bildet und nachfolgend detailliert beschrieben wird.

30

Der Spannungsteilerpunkt  $A$  ist, ähnlich wie im Zusammenhang mit Fig. 1 erläutert, über einen ohmschen Widerstand  $R_1$  mit dem Emitteranschluß eines Bipolartransistor  $Q_1$  in Verbindung. Der Basisanschluß und Kollektoranschluß dieses Bipolartransistors  $Q_1$  ist an die erste Spannungsklemme 1 angeschlossen.  
35 Ein weiterer Bipolartransistor  $Q_2$  ist ebenfalls mit seinem Basisanschluß und seinem Kollektoranschluß an die erste Span-

nungsklemme 1 geschaltet, wobei dessen Emitteranschluß direkt mit dem Spannungsteilerpunkt B in Verbindung steht. Die beiden Bipolartransistoren Q1 und Q2 sind pnp-Bipolartransistoren und beispielsweise als parasitäre, Vertikal-Bipolartransistoren (vgl. Fig. 2) realisiert.

Der Spannungsteilerpunkt A ist über die Laststrecke eines p-Kanal-MOSFET an einen Schaltungspunkt C geschaltet. Dieser Schaltungspunkt C ist über eine Stromspiegelanordnung, bestehend aus weiteren p-Kanal-MOSFETs M1, M2 und M3 an die zweite Spannungsklemme 2 geschaltet. Der zwischen dem Spannungsteilerpunkt A und dem Schaltungspunkt C befindliche MOSFET ist mit dem Bezugszeichen M19 bezeichnet. Dessen Gate-Anschluß ist einerseits an die erste Spannungsklemme 1 und andererseits an den Gate-Anschluß eines weiteren p-Kanal-MOSFET M20 geschaltet. Die Laststrecke des MOSFET M20 ist zwischen den erwähnten Stromspiegel und den Spannungsteilerpunkt D geschaltet.

Die Stromspiegelanordnung weist drei p-Kanal-MOSFETs M1, M2 und M3 aus, die folgendermaßen verschaltet sind. Die Laststrecke des MOSFET M1 liegt zwischen dem Schaltungspunkt C und der zweiten Spannungsklemme 2. Der Gate-Anschluß des MOSFET M1 ist an den Schaltungspunkt C geschaltet, ebenso wie der Gate-Anschluß des MOSFET M2. Die Laststrecke des MOSFET M2 liegt in Reihe zur Laststrecke des erwähnten MOSFET M20. Die beiden Gate-Anschlüsse der MOSFETs M1 und M2 sind mit dem Gate-Anschluß des MOSFET M3 in Verbindung. Die Laststrecke des MOSFET M3 liegt in Reihe zu einem Widerstand R2, der mit einem Anschluß an den Spannungsteilerpunkt B geschaltet ist. Der Verbindungspunkt des Widerstandes R2 und der Laststrecke des MOSFET M3 dient zugleich als Ausgangsanschluß für die temperaturkompensierte Referenzspannung  $V_{ref}$ . Die Laststrecke MOSFET M3 liegt zwischen diesem Ausgangsanschluß und der zweiten Spannungsklemme 2.

Die Funktionsweise der in Fig. 3 dargestellten Bandgap-Referenzspannungsschaltung ist folgende.

Durchströmt den Bipolartransistor Q1 ein Strom  $I_1$ , so wird  
 5 dieser Strom  $I_1$  durch den Stromspiegel M1, M2 und M3 in folgender Weise eingeprägt. Durch den MOSFET M3 fließt das N-fache des Stromes  $I_1$  und durch den MOSFET M2 genau der Strom  $I_1$ . Hierdurch wird ein Strom  $I_2$  im Bipolartransistor Q2 gemäß

$$10 \quad (4) \quad I_2 = (N+1) \cdot I_1$$

erzeugt.

Wegen der verschieden großen Ströme  $I_1$  und  $I_2$  durch die Bipolartransistoren Q1 und Q2 entsteht zwischen den Emitteranschlüssen dieser Bipolartransistoren Q1 und Q2 eine Spannungsdifferenz  $\Delta V_{be}$  in der Größenordnung von etwa 50 bis 100mV gemäß der oben erwähnten Formel (2). Diese Spannungsdifferenz hat einen positiven Temperaturgradienten und ist  
 15  
 20 direkt proportional zur Betriebstemperatur. Wird nun die Spannung  $V_{reg}$  in der Weise geregelt, daß die Spannungsteilerpunkte A und B auf gleichem Potential liegen, so wird die Spannung  $\Delta V_{be}$  an den Ohmschen Widerstand  $R_1$  abgebildet und bestimmt somit den Strom  $I_1$  gemäß folgender Formel

25

$$(5) \quad I_1 = \frac{\Delta V_{be}}{R_1}$$

Der Stromspiegel mit den MOSFETs M1, M2 und M3 prägt den Strom  $N \cdot I_1$  in den Widerstand  $R_2$  ein. Hierdurch fällt an  
 30 diesem Widerstand  $R_2$  die Spannung  $\Delta V$  gemäß

$$(6) \quad V_A = R_2 \cdot N \cdot I_1 = \frac{R_2}{R_1} \cdot N \cdot \Delta V_{be}$$

35

10

ab. Werden die Formeln (2) und (4) in die Formel (6) eingesetzt, so ergibt sich ein nur von den Bauelementeparametern  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $N$  und  $M$  abhängiger Wert gemäß nachfolgender Beziehung

5 
$$(7) V_A = \frac{R_2}{R_1} \cdot N \cdot \ln[M(N+1)] \cdot V_T$$

Die Summe aus der Spannung  $\Delta V$  und der Spannung  $V_{be2}$  über dem Bipolartransistor Q2 ergibt die Referenzspannung  $V_{ref}$  gemäß nachfolgender Formel

10

$$(8) V_{ref} = V_{be2} + V_A$$

Die Bauelementeparameter  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $N$  und  $M$  müssen jetzt so gewählt werden, daß der negative Temperaturkoeffizient der Spannung  $V_{be2}$  gerade durch den positiven Temperaturgradienten der Spannung  $\Delta V$  kompensiert wird, wie nachfolgende Beziehung zeigt

15

$$(9) \frac{\partial V_{ref}}{\partial T} = \frac{\partial V_{be2}}{\partial T} + \frac{R_2}{R_1} \cdot N \cdot \ln[M(N+1)] \cdot \frac{\partial \Delta V_T}{\partial T} \rightarrow 0$$

20

Der Wert des Temperaturgradienten der Spannung  $V_{be2}$  beträgt etwa minus 2mV/1° Celsius. Die Formel zur Bestimmung der Design-Parameter ist folgende

25

$$(10) \frac{R_2}{R_1} \cdot N \cdot \ln[M(N+1)] = \frac{e}{k} \cdot 2mV = 23,2 \text{ mit } \frac{\partial V_{be2}}{\partial T} \cong -2mV$$

Eine der wesentlichsten Schaltungskomponenten in der Bandgap-Referenzspannungsschaltung sind die durch die Transistoren M19 und M20 realisierten Widerstandselemente. Die Fehlerabweichung des Stroms durch den MOSFET M3 von seinem theoretischen Wert  $I_2 = N \cdot I_1$  ist durch folgende Beziehung bestimmt

35

$$(11) \Delta I = \frac{V_{DS3} - V_{DS1}}{V_{EP} L_3} \text{ mit } L_3 \text{ Länge von } M_3, V_{EP} \text{ konstanter Transistorparameter}$$

5

Diese Beziehung ist z. B. aus der Veröffentlichung Laker /Sansen: "Design Of Analog Integrated Circuits And Systems", McGraw-Hill, New York (1994), bekannt, weswegen ausdrücklich auf diese Veröffentlichung hierfür zum Zwecke der Offenbarung  
 10 Bezug genommen wird. Um diesen Spiegelfehler auf ein Minimum zu verkleinern, sind die beiden MOSFET M19 und M20 eingefügt. Sie wirken als Quasi-Konstantwiderstände mit abnehmendem Leitwert bei steigender Temperatur. Sie erzeugen an ihren Sourcekontakten, also an den Schaltungspunkten C und D, ein  
 15 Potential in der Größenordnung der Referenzspannung  $V_{ref}$ . Im Vergleich hierzu hat die Spannung an den Spannungsteilerpunkten A und B etwa den Wert zwischen 400 und 800 mV. Die Spannungsverläufe an dem Spannungsteilerpunkt A und an dem Schaltungspunkt C sind in Figur 5 über die Temperatur aufgetragen.  
 20 Man erkennt deutlich, daß die Spannungsänderung nach der Temperatur am Schaltungspunkt C wesentlich geringer ist als am Spannungsteilerpunkt A, so daß der Stromspiegel über dem gesamten Temperaturbereich von etwa  $-40^\circ \text{C}$  bis  $+160^\circ \text{C}$  noch ausreichend genau den N-fachen Spiegelstrom in den MOSFET M3  
 25 einprägt.

In der Schaltungsanordnung nach Figur 3 wird im Gegensatz zu den bekannten Bandgap-Referenzspannungsschaltungen nicht die Referenzspannung  $V_{ref}$  direkt geregelt, sondern die Spannung  
 30  $V_{reg}$  an der zweiten Spannungsklemme, die auf höherem Potential liegt. Hierdurch können Störungen in der Versorgungsspannung  $V_{dd}$  an der dritten Spannungsklemme besser gedämpft werden und kleinere Störamplituden in der Referenzspannung  $V_{ref}$  erzeugen. Durch diese Entkopplung wird die Stabilität des  
 35 Badgap-Regelkreises sichergestellt. Die Regelspannung  $V_{reg}$  an der zweiten Spannungsklemme 2 kann durch die regelbare Strom-

quelle, wie sie in Figur 3 dargestellt und mit dem Bezugszeichen 4 bezeichnet ist, eingestellt werden.

In Figur 4 ist ein detailliertes Schaltbild einer erfindungs-  
5 gemäßen Bandgap-Referenzspannungsschaltung dargestellt, bei der der im Zusammenhang mit Figur 3 erläuterte Komparator K die Stromquelle 4 sowie die Endstufe M18 anhand von konkreten Schaltungselementen realisiert ist. Um Wiederholungen zu vermeiden, werden nachfolgend bei der Erläuterung der Schaltungsanordnung von Figur 4 lediglich die schaltungstechnischen Unterschiede zu Figur 3 beschrieben.

Als geregelte Stromquelle dienen die in Figur 4 dargestellten MOSFETs M4, M5, M6, M7 und M8. Hierbei sind die MOSFETs M4,  
15 M7 und M8 p-Kanal-MOSFETs und M5 und M6 n-Kanal-MOSFETs. Der MOSFET M4 ist mit einem Anschluß seiner Laststrecke an die zweite Spannungsklemme 2 und mit seinem anderen Anschluß der Laststrecke an einen Anschluß der Laststrecke des MOSFET M5 geschaltet. Der andere Anschluß der Laststrecke dieses MOSFET  
20 M5 ist mit der ersten Spannungsklemme 1 in Verbindung. Der Gate-Anschluß des MOSFET M4 ist mit dem Schaltungspunkt C der Schaltungsanordnung verbunden, während der Gate-Anschluß des MOSFET M5 einerseits mit dem Verbindungspunkt zwischen MOSFET M4 und M5 und andererseits mit dem Gateanschluß des MOSFET M6  
25 in Verbindung steht. Die Laststrecke des MOSFET M6 ist in Reihe zur Laststrecke des MOSFET M7 geschaltet, wobei der MOSFET M6 mit einem Anschluß an der ersten Spannungsklemme 1 und damit auf Bezugspotential und ein Anschluß des MOSFET M7 mit der dritten Spannungsklemme 3 in Verbindung steht. Der  
30 Verbindungspunkt zwischen MOSFET M6 und MOSFET M7 ist mit dem Gate-Anschluß des MOSFET M7 kurzgeschlossen.

Die Regelspannung  $V_{reg}$  an der zweiten Spannungsklemme 2 wird durch einen geregelten Spannungsteiler, bestehend aus dem  
35 MOSFET M8 und dem MOSFET M18, eingestellt. Der Verbindungspunkt zwischen MOSFET M8 und MOSFET M18, der der Endstufen-  
transistor ist, ist zugleich die zweite Spannungsklemme 2.

Die in Figur 4 weiterhin dargestellten MOSFETs M9 bis M16 bilden den Komparator K der Bandgap-Referenzspannungsschaltung. Der Komparator K ist für sich genommen aus der erwähnten Veröffentlichung Laker / Sansen (vgl. dort Seite 577) bekannt, so daß auch hierfür ausdrücklich zum Zwecke der Offenbarung hierauf Bezug genommen wird.

Der Komparator K verfügt über vier p-Kanal-MOSFETs M9, M10, M11, M16 und M17, sowie über vier n-Kanal-MOSFETs M12, M13, M14 und M15. Die MOSFETs M14 und M16 sind ebenso wie die beiden MOSFETs M15 und M17 in Reihe geschaltet und liegen zwischen der ersten Spannungs-klemme 1 und zweiten Spannungs-klemme 2. Die Gate-Anschlüsse der MOSFETs M16 und M17 sind miteinander verbunden sowie zugleich an den Verbindungspunkt der beiden MOSFETs M14 und M16 angeschlossen. Zwischen die erste Spannungs-klemme 1 und zweite Spannungs-klemme 2 ist des weiteren die Reihenschaltung der Laststrecken des MOSFET M9, des MOSFET M10 und des MOSFET M12 geschaltet. An dem Verbindungspunkt der beiden Laststrecken des MOSFET M9 und des MOSFET M10 und die erste Spannungs-klemme 1 ist die Reihenschaltung der Laststrecken der MOSFETs M11 und M13 geschaltet. Die Gate-Anschlüsse der MOSFETs M13 und M15 sind miteinander in Verbindung und zugleich an den Verbindungspunkt der MOSFETs M11 und M13 geschaltet. In ähnlicher Weise sind die Gate-Anschlüsse der MOSFETs M12 und M14 an den Verbindungspunkt zwischen MOSFET M10 und MOSFET M12 geschaltet. Der Gate-Anschluß des MOSFET M9 ist mit dem Schaltungspunkt C der Schaltungsanordnung in Verbindung.

Der Gate-Anschluß des MOSFET M11 ist der invertierende Eingang des Komparators K und deshalb an den Spannungsteilerpunkt A geschaltet. Der Gate-Anschluß des MOSFET M10 ist der nichtinvertierende Eingang des Komparators K und folglich an den Spannungsteilerpunkt B angeschlossen. Der Ausgangsanschluß des Komparators K ist zugleich der Verbindungspunkt der beiden MOSFETs M15 und M17. Der Ausgangsanschluß des Kom-

parators K ist mit dem Gate-Anschluß des MOSFET M18 in Verbindung.

- Auch bei dieser in Figur 4 dargestellten Schaltungsanordnung wird ein durch die Bandgap-Referenzspannungsschaltung bestimmter Konstantstrom in den MOSFET M8 eingeprägt. Eine Regelabweichung an den Spannungsteilerpunkt A und B wird durch den Komparator K verstärkt und durch Änderung der Gate-Source-Spannung am MOSFET M18 in der Endstufe ausgeregelt.
- Der Komparator K hat zur Verkleinerung des Komparatoroffsets eine symmetrische Eingangsstufe. Um ein stabiles Arbeiten des gesamten Regelkreises zu gewährleisten, ist ein Dämpfungsglied, hier ein RC-Glied, zwischen den Drainanschluß und den Gate-Anschluß des Endstufentransistors M18 eingebaut. Das Dämpfungsglied ist im vorliegenden Fall ein RC-Glied, dessen Kondensator C1 mit einem Anschluß an die zweite Spanningsklemme 2 und mit dem zweiten Anschluß an den Widerstand R4 geschaltet ist. Der freie Anschluß dieses Widerstandes R4 ist an den Gate-Anschluß des Endstufentransistors M18 gelegt.
- Die Schaltungsanordnung von Figur 3 bzw. 4 ermöglicht in bezug auf die Anpassung und Dimensionierung der Bipolartransistoren Q1 und Q2 die äußerst günstige Wahl der Bauelementeparameter  $R1 = R2$  und  $M = 1$ . Des weiteren kann der Wert der Widerstände R1 und R2 sehr klein gehalten und gleichzeitig ein nur sehr kleiner Strom eingestellt werden.



## Bezugszeichenliste

	1	erste Spannungs-klemme
	2	zweite Spannungs-klemme
5	3	dritte Spannungs-klemme
	M1..M30	MOSFET Transistoren
	Q1, Q2	Transistoren
	R1...R4	Widerstände
10	A, B	Spannungsteilerpunkte
	C, D	Schaltungspunkte
	C1	Kondensator
	V <sub>ref</sub>	Referenzspannung
	V <sub>reg</sub>	Regelspannung
15	V <sub>DD</sub>	Versorgungsspannung
	V <sub>Δ</sub>	Spannung
	ΔV <sub>be</sub>	Spannung
	K	Differenzverstärkereinrichtung
	I1	Strom
20	I2	Strom

## Patentansprüche

1. Bandgap-Referenzspannungsschaltung zur Erzeugung einer temperaturkompensierten Referenzspannung ( $V_{\text{ref}}$ ) mit einem  
5 zwischen eine erste und zweite Spannungsklemme (1, 2) geschalteten ersten und zweiten Spannungsteiler, die jeweils einen an die erste Spannungsklemme (1) als Diode geschalteten Transistor (Q1, Q2) aufweisen, wobei der erste Transistor (Q1) im ersten Spannungsteiler über einen ohmschen Widerstand (R1) und der zweite Transistor (Q2) im zweiten Spannungsteiler direkt an einen Spannungsteilerpunkt (A, B) des jeweiligen Spannungsteilers geschaltet ist und die beiden Spannungsteilerpunkte (A, B) jeweils über eine Widerstandseinrichtung an die zweite Spannungsklemme (2) geschaltet sind, und mit einer  
15 Differenzverstärkeranordnung (K), welche ausgangsseitig an die erste Spannungsklemme (1), mit ihrem invertierenden Eingang an den Spannungsteilerpunkt (A) des ersten Spannungsteilers und mit ihrem nichtinvertierenden Eingang an den Spannungsteilerpunkt (B) des zweiten Spannungsteilers geschaltet ist,  
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Widerstandseinrichtungen durch Widerstandselemente (M19, M20) mit abnehmendem Leitwert bei steigender Temperatur gebildet und über eine Stromspiegelanordnung (M1, M2, M3) an die zweite  
25 Spannungsklemme (2) angeschlossen sind, daß an den Spannungsteilerpunkt (B) des zweiten Spannungsteilers ein ohmscher Widerstand (R2) geschaltet ist, welcher mit seiner freien Klemme, an der die Referenzspannung ( $V_{\text{ref}}$ ) abgreifbar ist, über die Laststrecke eines Transistors (M3) an die zweite Spannungsklemme (2) geschaltet ist, wobei der Steueranschluß dieses Transistors (M3) mit dem Verbindungspunkt des Stromspiegels (M1, M2) und einem Widerstandselement (M19) verbunden ist, daß Versorgungsspannungsklemmen der Differenzverstärkeranordnung (K) mit den ersten und zweiten Spannungsklemmen  
30 (1, 2) verbunden sind, und daß eine regelbare Stromquelle (4) vorgesehen ist, die zwischen die zweite Spannungsklemme (2) und eine dritte Spannungsklemme (3) geschaltet ist.

2. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die als Diode geschalteten Transistoren (Q1, Q2) jeweils Bipolartransistoren sind, deren Basisanschlüsse und Kollektoranschlüsse miteinander kurzgeschlossen sind.
3. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bipolartransistoren vertikale Bipolartransistoren in n-Wannen-Technologie oder p-Wannen-Technologie sind.
4. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandselemente (M19, M20) durch Transistoren realisiert sind.
5. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Transistoren als MOSFETs ausgebildet, und mit ihren Laststrecken in Serie in den jeweiligen Spannungsteilern eingeschleift und mit den jeweiligen Gate-Anschlüssen der ersten Spannungsklemme (1) verbunden sind.
6. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannung ( $V_{reg}$ ) an der zweiten Spannungsklemme (2) so gewählt ist, daß an den Spannungsteilerpunkten (A, B) gleiches Potential anliegt.
7. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromspiegel (M1, M2) so dimensioniert ist, daß durch den einen Transistor (M2) der N-fache Strom des anderen Transistors (M1) fließt.
8. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Bauelementeparameter der Widerstände (R1, R2), der Stromverstärkungsfaktor (N) und das Emitterflächenverhältnis zwischen den beiden Bipolartransistoren (Q1, Q2) so gewählt ist, daß der negative Temperatur-

koeffizient zwischen der an Basis und Emitter des zweiten Bipolartransistors (Q2) abfallenden Spannung ( $V_{be2}$ ) gerade durch den positiven Temperaturgradienten der am Widerstand (R2) abfallenden Spannung ( $V_A$ ) kompensiert wird.

5

9. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die ohmschen Widerstandswerte der beiden Widerstände (R1, R2) gleich gewählt und der Faktor M gleich 1 gewählt wird.

10

10. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannung ( $V_{reg}$ ) an der zweiten Spannungs клемme (2) durch einen geregelten Spannungsteiler (M8, M18) einstellbar ist.

15

11. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenzverstärkungsanordnung (K) ausgangsseitig mit einem Endstufentransistor (M18) verbunden ist, wobei der Endstufentransistor (M18) mit seiner Laststrecke zwischen der ersten Spannungs клемme (1) und der zweiten Spannungs клемme (2) liegt.

20

12. Bandgap-Referenzspannungsschaltung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der zweiten Spannungs клемme (2) und dem Gate-Anschluß des Endstufentransistors (M18) ein Dämpfungsglied, insbesondere ein RC-Glied (C1, R4) geschaltet ist.

25

30

1/4

FIG 1

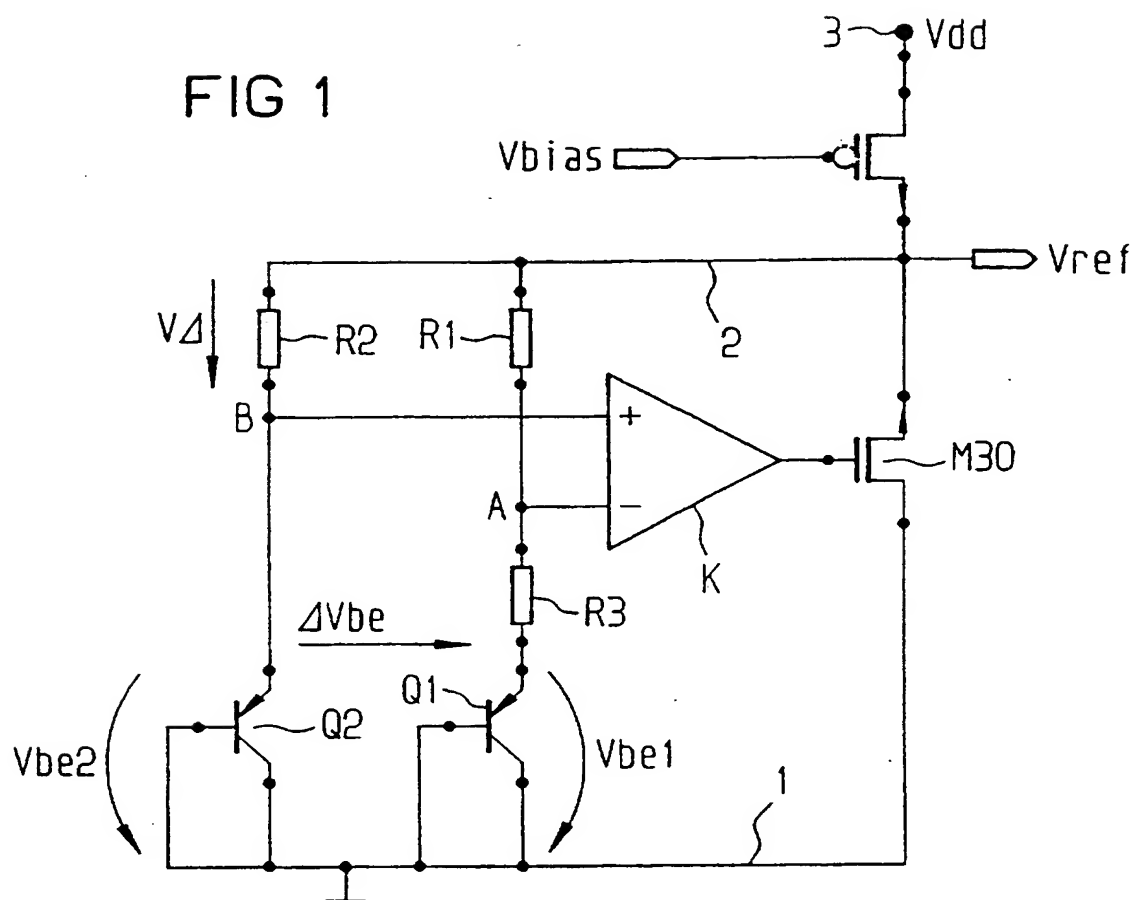
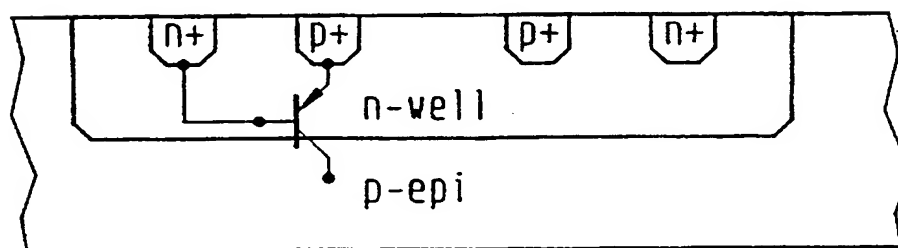
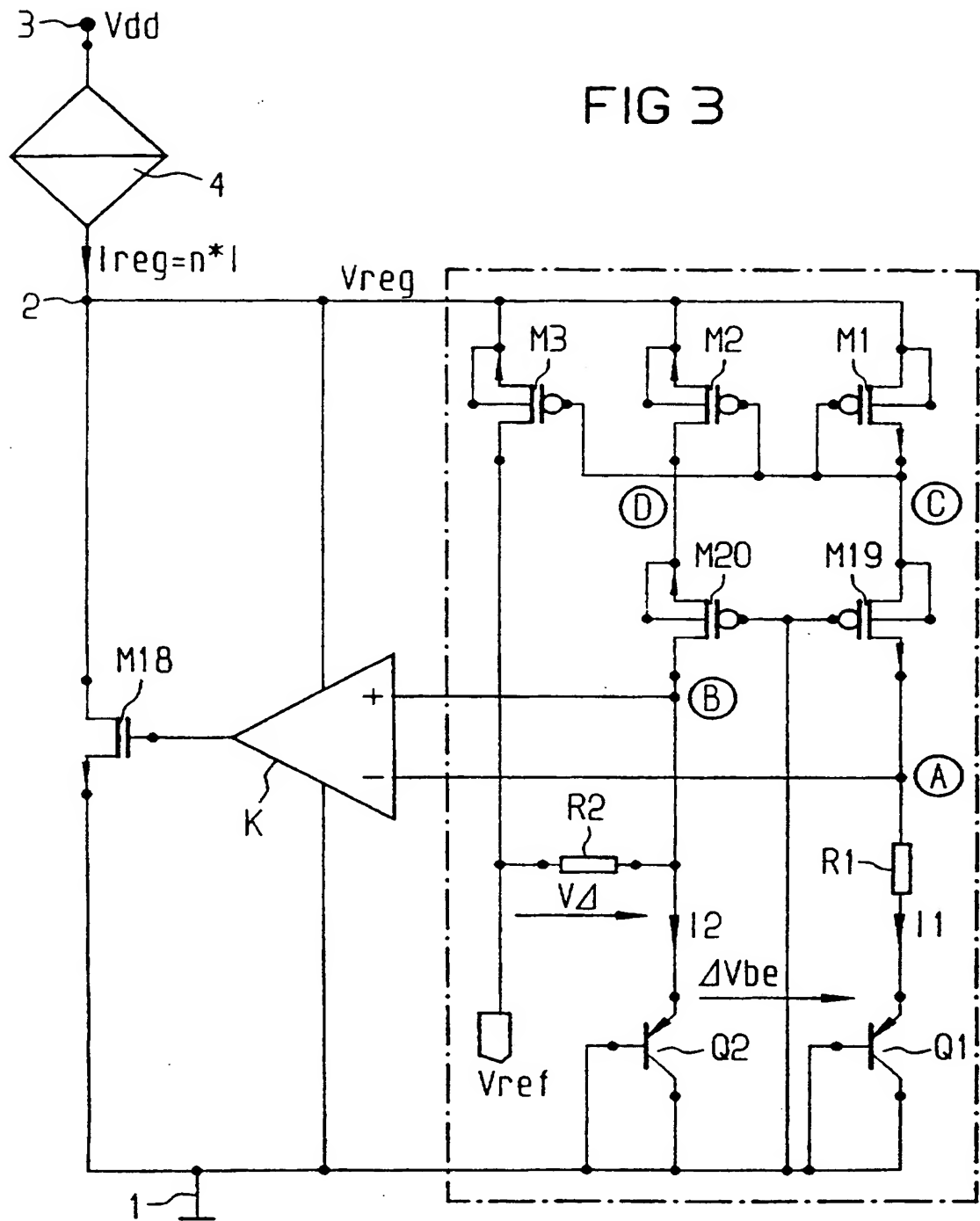


FIG 2

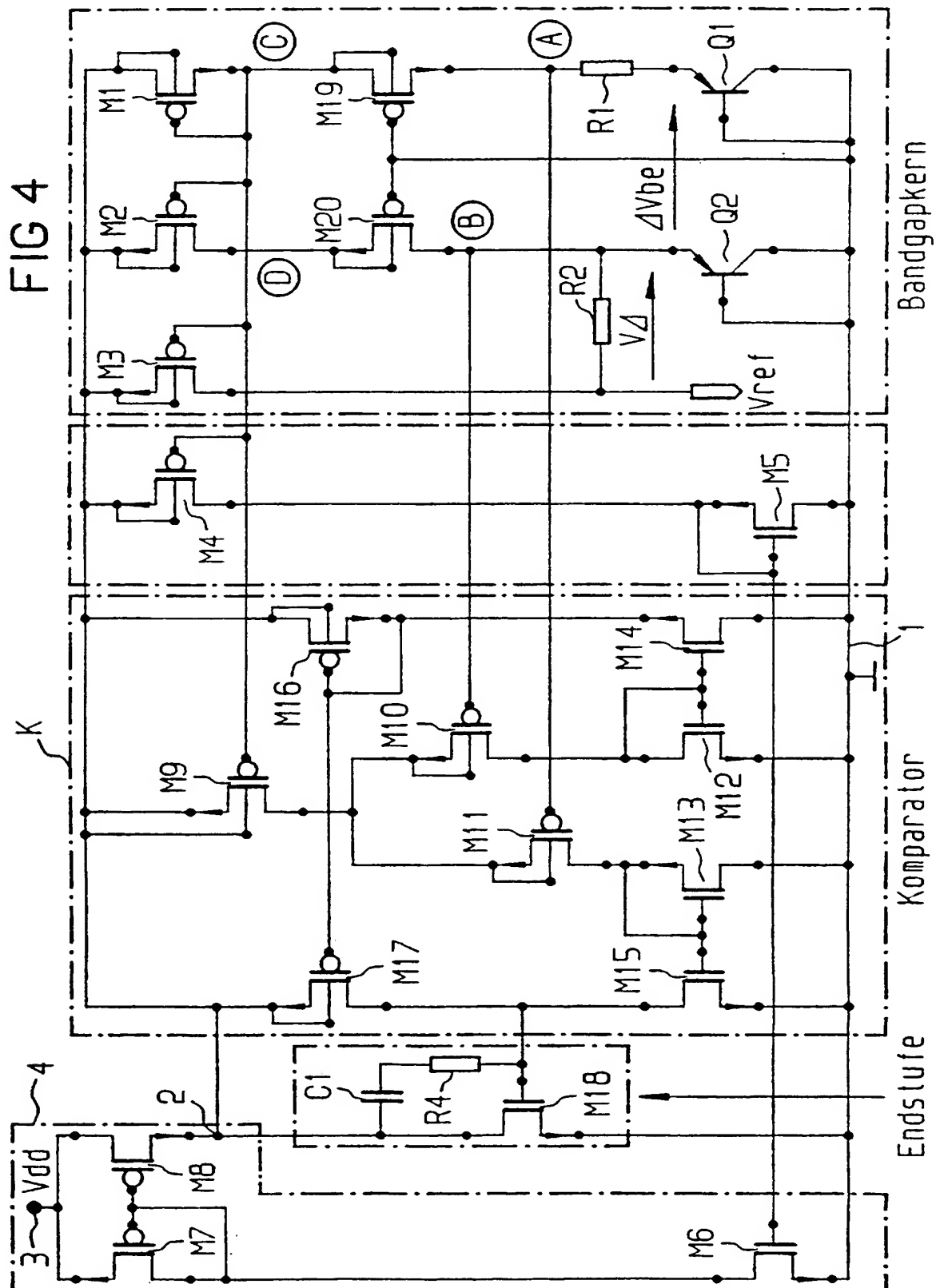


2/4

FIG 3

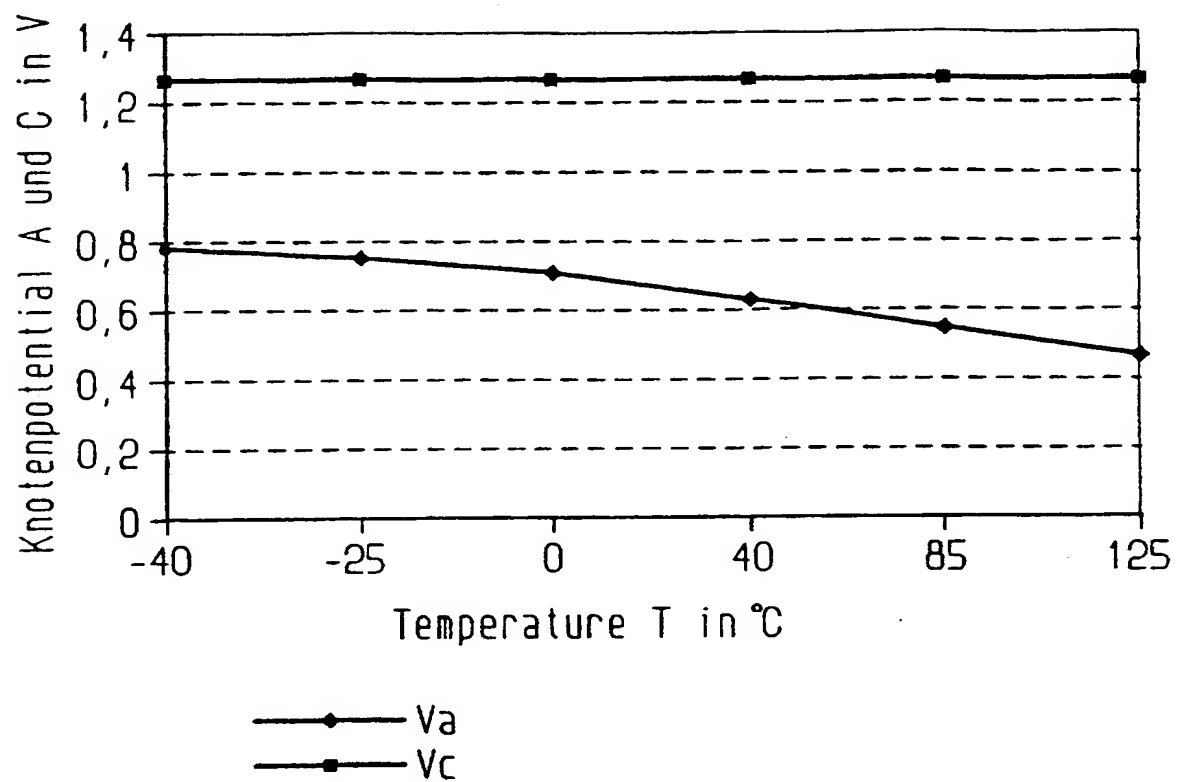


3/4



4/4

FIG 5





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. Application No  
PCT/DE 97/00939A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 G05F3/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 G05F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 849 684 A (SONNTAG ET AL.) 18 July 1989 see the whole document ---	1
A	EP 0 661 616 A (AT & T CORP) 5 July 1995 see the whole document ---	1
A	US 4 896 094 A (GREAVES CARLOS A ET AL) 23 January 1990 see the whole document -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 September 1997

Date of mailing of the international search report

25. 09. 97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Schobert, D

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 97/00939

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4849684 A	18-07-89	NONE	
EP 0661616 A	05-07-95	US 5512817 A JP 7249949 A	30-04-96 26-09-95
US 4896094 A	23-01-90	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/00939

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 G05F3/26

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 6 G05F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 849 684 A (SONNTAG ET AL.) 18.Juli 1989 siehe das ganze Dokument ---	1
A	EP 0 661 616 A (AT & T CORP) 5.Juli 1995 siehe das ganze Dokument ---	1
A	US 4 896 094 A (GREAVES CARLOS A ET AL) 23.Januar 1990 siehe das ganze Dokument -----	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \* "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \* "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \* "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \* "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \* "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\* "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\* "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\* "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\* "&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. September 1997

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

25. 09. 97

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Schobert, D

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 97/00939

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4849684 A	18-07-89	KEINE	
EP 0661616 A	05-07-95	US 5512817 A JP 7249949 A	30-04-96 26-09-95
US 4896094 A	23-01-90	KEINE	

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie)(Juli 1992)